

定量分析能源效率以及温室气体减排项目和政策中的协同效益方面的国际经验

Christopher Williams^a, Ali Hasanbeigi^a, Grace Wu^b, Lynn Price^a

^a 劳伦斯伯克利国家实验室环境能源技术部能源分析和环境影响处中国能源研究室

^b 美国加州大学伯克利分校能源和资源组

概要

提高能源生产和消费的效率并改用低碳的能源可大幅减少二氧化碳的排放量和减少其对气候变化所造成的影响。越来越多的研究发现，这些措施也可以直接减少许多由气候变化以外因素所引起的但是有危害人类健康和环境的可能性。协同效益指除主要政策目标以外，由该政策方案带来的其他正面影响。进行政策分析时，要对政策方案的实施成本以及实施后对社会带来的积极影响进行预测和比较分析。实施节能减排政策方案之所以会面临政治阻力，原因之一是很难对政策方案能带来的益处进行量化。一方面，气候变化减缓政策带来的好处往往是全球范围内的、长期的、以及不确定的。由于实施成本高，能源价格补贴往往减损能效政策可能带来的成本效益。另一方面，实施这些政策方案除可直接改善空气污染情况，其产生的协同效益(如健康状况获得的改善、农业生产力的提高、基础设施损坏情况的减少、当地的生态系统获得改善)，通常是短期的、当地可以直接受惠的。其效果相比于减缓气候变化政策带来的好处，确定性要高，成本效益通常也高于节能本身的成本效益。所以，如果提高能效和减缓气候变化的政策能够纳入协同效益概念，这些政策的公众接受度可得到大幅度的提高。对发展中国家而言，政策方案能否尽早被接受 尤其重要。因为在发展过程中如不考虑协同效益，可能因为固守在次优的技术与基础设施，长远来看，成本反而更高。

提高能效和燃料转换效率是温室气体减排战略的一部分。过去二十年，很多研究显示这两方面带来气候变化以外的好处，多半介于这些政策方案实施成本的 30%到超过 100%。国际上，政策制定者对于分析能效政策和燃料转换效率政策同时纳入对温室气体和非温室气体两方面影响的探讨愈来愈感兴趣。欧盟、美国与日本已开发出一套相当成熟的方法。

1. 协同效益定量方法的一般步骤

本报告使用定量方法计算节能减排政策的协同效益时，采取下列四个步骤：

- 1). 计算政策的基本情景与其他可能发生的情景以及彼此在排放量上的差异。
- 2). 使用空气污染扩散模型或以简化的方式对污染物浓度进行描述和比较。

- 3). 对每个情景可能会产生的影响进行预测和相互比较(例如使用人口经过调整的C-R方程,找出对健康的影响)
- 4). 计算这些影响产生的经济效益,并与其它政策方案情景的实施成本进行比较,从而预估由特定的污染物造成的成本。

2. 协同效益的模型、指南和应用研究

通常,协同效益的定量工作可分为三类:(1)协同效益模型;(2)事前的政策评估方法;(3)由学者建立的框架,意在改善这方面的研究,并将协同效益应用到更多的地区和政策方案上。表ES-1将协同效益定量方面的几个重点模型、指南和框架做了摘要。

3. 降低不确定性和简化方法

协同效益的理论和研究仍在发展中,即使是最先进的研究,在许多方面仍然存在着不足。用于预测能耗与温室气体排放增长情况的模型在开发时就包含了高度的不确定性,这是因为能源需求量的增长与经济环境的变化会受到很多因素的影响。所以对这两方面进行的预测,从科学的角度而言并不是十分精确的。数据的有效性是引起不确定性的重要因素,尤其是将流行病学中的数据,应用到数据采集地点以外的地区。但是,政策制定者经常面临不确定性,即便协同效益研究也含有不确定性,因此,不确定性不应该成为进一步发展与使用协同效益分析方法的阻力。敏感性分析可以作为探讨不确定性来源的重点战略,我们建议所有的协同效益研究都应该包括敏感性分析。

此外,用于简化协同效益分析的几种方法已证明对发展中国家有助益。根据事前确定的评分标准进行的定性影响评估,可作为评估潜在协同效益的第一步,从而研究人员可以确定问题的优先顺序,然后决定要使用何种定量方法。简化定量工作,可使用简化的线性方程和指标如吸入因子来替代大气扩散模型。但使用时要注意,因为会大幅降低输出的准确性和透明度。限缩研究范围有几种做法,例如限制协同效益分析只能用在优先考虑地区(如重点都会区);在大范围的地区使用解析度较高的模型以找出平均的影响幅度;只研究重点污染物如十微米悬浮微粒物质(PM₁₀)和二点五微米悬浮微粒物质(PM_{2.5});对人口结构的描述不必过与详尽、缩小调研的人口类型和人口数(例如只要调研成人,略过小孩和老人,并视这些人口具有同质性);以及面对交通运输等复杂的行业部门时,则要根据经验法则。要简化分析方法,也可从影响层面的检验数量下手。尝试对生态系统造成的高度不确定影响进行定量分析和计算成本效益,协同效益分析可以仅专注于流行病学上已知对人类健康危害最大的部分。一个建议的做法是:开发一套与当地相关、涵盖所有流行病相关数据的数据库,某些领域已有针对地方所

开发的模型。这类模型仅专注于优先重点行业部门与技术并考量经验法则、缺省值以及适用于当地的经济效益标准。不过，经验较丰富的国家在推广国际最佳实践模型软件工具包，如中国和印度等发展中国家使用的“温室气体—空气污染相互作用和协同效益模型”(英文简称 GAINS 模型)时，收获通常比较多。再者，制定一本全国适用的指南(参见美国和日本近几年的做法)，将有助于将协同效益研究纳入国家政策方案的做法标准化和将输出结果标准化，从而利于不同研究间的相互比较。

最后，由于针对影响程度进行成本效益分析和采用简化方法的争议很多，在应用到不同对象时，研究结果可能有很大的出入。对健康影响进行定量分析的最新方法，如 Disability-Adjusted Life Years (DALYs) 和 Quality-Adjusted Life Years (QALYs)有望消除关于成本效益方面的争议，并建立一套统一的、具全球可比性的影响评估方法。一些简易的协同效益计算方法对中国与其他发展中国家有帮助作用，不过，在采用大多数的简易方法前，必须先投入大量心力进行标准化，从而确保使用简化方法但不会导致研究结果的错误或者相互矛盾的问题出现。

表 ES-1 协同效益定量方面的几个重点模型、指南和框架摘要

模型、指南或研究	类别	模拟空气污染物	建模步骤
温室气体—空气污染相互作用和协同效益模型 (英文简称 GAINS)	模型	二氧化硫(SO ₂)、氮氧化物(NO _x)、氨(NH ₃)、挥发性有机污染物(VOCs)、总悬浮颗粒(TSPs)、粒子状物质(PM ₁₀ 和PM _{2.5})、二氧化碳(CO ₂)、甲烷(CH ₄)、一氧化二氮(N ₂ O)、六氟化硫(SF ₆)、烃(HFCs)和全氟化碳(PFCs)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 一个由上至下的模型，可对空气污染排放活动进行预测； 2. 使用者可从中选择多个污染控制技术、节能措施、燃料转换措施，模型可据以预测排放水平； 3. 使用大气扩散模型进行排放水平预测，用以找出新的浓度； 4. 对多方面的影响进行建模：包括通过曝露于细颗粒和地面臭氧方法，从而减少对人体健康的负面影响；通过注入大量酸化和营养素丰富的化合物，从而减缓对植被的破坏；京都议定书考虑减少六种温室气体的排放量。人类健康损害的计算基础是减损的寿命、统计学上减损的寿命与每年死于非命的人数。
改善空气质量的简易互动模型 (英文简称 SIM-Air)	模型	PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、NO _x 、SO ₂ 、VOCs、CO ₂ 。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用者自己可对推升排放量的活动，进行预测； 2. 一个由下至上的模型，使用者可选择不同的交通工具、节能技术和措施、不同的燃料、改变排放源的地点； 3. 使用者可将排放数值输入外部污染物扩散模型，从而找出新的浓度； 4. 可计算对人类健康的影响和超过空气污染限度的程度；可计算健康影响的经济效益。
综合全球系统模型 (英文简称 IGSM)	模型	CO、VOCs、NO _x 、SO ₂ 、NH ₃ 、炭黑和有机碳、CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O、SF ₆ 、HFCs、PFCs。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 一个由上至下的模型，可对空气污染排放活动进行预测； 2. 使用者可选择不同种类的燃料、节能技术和措施、污染控制技术、能效以外的技术、调整家庭活动和技术、选择碳封存和整体煤气化联合循环发电系统(IGCC)技术，从而预测温室气体排放水平； 3. 使用大气扩散和海洋系统模型，进行排放水平预测，从而找出新的浓度； 4. 对环境质量改善进行建模，并模拟改善后对主要生产力的影响，但未对健康造成的影响进行建模。
美国环保署综合环境战略计划 (英文简称 IES)	事前评估指南	CO ₂ 、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、臭氧、SO ₂ 、CO、NO _x 、铅	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用多种井然有序的方法，对排放量进行预测； 2. 使用者可选择不同的技术和措施，多半是应用于交通运输部门的空气污染控制技术或活动； 3. 使用空气扩散模型或更简化的方法； 4. 根据当地或其他地区的有关于影响方面的数据，计算对人类健康的影响；也可用于计算成本效益。
日本气候变化项目协同效	事前评估指南	SO _x 、NO _x 、烟尘、粉尘、CO ₂ 。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用者评估影响时，可选择要使用定性或定量方法；

模型、指南或研究	类别	模拟空气污染物	建模步骤
益定性评估方法手册			<ol style="list-style-type: none"> 2. 使用者进行定量分析时，可选择不同的技术和活动，并依据数据输入要求选择合适的计算公式； 3. 模型提供空气、水和废弃物污染方面措施的输出值，但不对影响评估使用扩散模型或定量分析。
黄金标准程序模型	事前评估指南	<p>NO_x、SO_x、铅、一氧化碳、O₃、持久性有机污染物 (POPs)、汞(Hg)、氯氟烃 (CFCs)、卤素、可吸入的悬浮颗粒物 (RSPM)、NH₃、PM₁₀、挥发性有机物、TSP、灰尘、异味</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 符合技术和活动(可再生能源、能效或对废弃物的处理)相关规定的 CDM 项目开发人员，可在黄金标准程序模型项目注册内设立一个项目账户； 2. 项目规划人员与当地社区合作，根据多项评估影响程度的标准，确立社区欲达成的目标； 3. 申设项目账户一旦获准，项目开发人员可根据项目指南，设立基准线并规划如何对影响程度进行计算； 4. 项目开发人员针对各项标准，建立监测系统；项目获得当地社区或第三方审计人员核准后，该项目会收到由注册区寄出的证书。
让交通运输协同效益方法成为主流：交通运输政策评估指南	事前评估指南	NO _x 、PM、CO、CO ₂	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用者会看到多个由下至上的建模方程，这些方程可计算实施交通运输相关技术、更换燃料种类和方法(如状态切换措施)后所产伤的协同效益； 2. 在入选措施的执行力度上，将取自经验或来自使用者的数据，套入方程中，从而预估排放量或调整的活动内容； 3. 使用者可使用简易的定量公式，对影响程度进行评估。
气候成本项目	事前评估中应用研究	SO ₂ 、NO _x 、VOCs、NH ₃ 、PM _{2.5}	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用由上至下的“温室气体—空气污染相互作用和协同效益模型，对推升排放量的活动，进行预测； 2. 使用不同的节能技术、换用不同的燃料、使用传统的污染控制技术等技术措施，要符合既有的节能规定以及控制非温室气体污染的相关规定； 3. 使用大气扩散模型； 4. 计算对人类健康、实体基础建设与主要农业生产力等方面的影响，并计算经济效益。
欧洲环保署对温室气体减排政策在空气质量方面的协同效益之分析	事前评估中应用研究	<p>NO_x、SO₂、PM₁₀、PM_{2.5}、CO₂、CH₄、N₂O、SF₆、HFCs、PFCs、NH₃、非甲烷挥发性有机化合物</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 一个由上至下的模型，用于预测推升排放量原因； 2. 一个由上至下的模型，可根据二氧化碳排放量上限、用尽所有可用的技术、持续使用空气污染控制技术等技术条件，预测排放量的变化； 3. 使用空气污染扩散模型，从而找出新的浓度； 4. 每个情景涵盖的影响层面包括:人类健康、植被受损面积、由于酸化受损的森林面积、由于水体富营养化受损的土地面积。有关于人类健康影响方面的经济效益计算。

模型、指南或研究	类别	模拟空气污染物	建模步骤
ExternE 项目模型	事前评估中 应用研究	SO ₂ 、NO _x 、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、非甲烷挥发性有机化合物、NH ₃ 、特定重金属、CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O、SF ₆ 、HFCs、PFCs	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能耗需求数据来自“政府间气候变化湾门委员会”(IPCC)的估测值； 2. 使用者可根据换用不同燃料，选择能够符合用能需求的燃料组合； 3. 使用大气、土壤、水污染扩散模型； 4. 就健康、农业生产量、造林进度、地球暖化与其他危害方面，进行定量分析；并对健康、农业、实体基础设施成本、气候变化和对生态系统的破坏等方面造成的影响，进行成本效益分析。
看不见的能源成本	学术框架	SO ₂ 、NO _x 、PM _{2.5} 、PM ₁₀	<ol style="list-style-type: none"> 1. 根据现有的用能需求，对四个行业部门的发电做法，进行建模，并对建模结果互为比较； 2. 根据使用的燃料组合，计算工厂的用能和排放量； 3. 使用大气扩散模型分析排放量； 4. 对人类健康、谷物与木材的收成情况、建筑材料、休闲、能见度、生态系统服务与气候变化等方面的影响，进行评估。
中国模型内的温室气体减排政策的协同效益	学术框架	PM、SO ₂ 、NO _x 、CO ₂	<ol style="list-style-type: none"> 1. 根据发电成本，使用混合模型对用能需求与用能需求趋势，进行预测； 2. 由于本模型对价格做出约束，所以可以根据选用的技术，预测排放量； 3. 使用大气扩散模型估算排放量； 4. 使用吸入因子找出健康受损程度并从成本效益角度进行分析。
美国电力行业减碳政策使用 Future 模型进行协同效益评估的相关资源	学术框架	NO _x 、SO ₂	<ol style="list-style-type: none"> 1. 一个由上至下的模型，用于找出电力需求量； 2. 更换燃料种类造成排放量的变化；根据对碳价格的预期和必须符合污染相关规定的前提下，高效发电技术的执行情况； 3. 使用大气扩散模型，找出污染物浓度的变化情况； 4. 对人类健康的影响程度进行建模与成本效益分析；其他影响包括减少使用传统污染控制技术的成本。

致谢

本项工作通过美国能源部，由能源基金会的中国可持续能源项目和陶氏化学公司(通过慈善捐款)共同资助，合同编号 DE-AC02-05CH11231。

2012 年 10 月